

УДК 621.386

Т.А. Романюк, студент гр. ПК-51
КПІ ім. Ігоря Сікорського

АНАЛІЗ ЛОПАТОК ВІТРОВИХ ТУРБІН ЯК ОБ'ЄКТІВ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ

Анотація. Розглянуто лопатки вітрових турбін, проаналізовано характерні пошкодження лопаток турбіни. Показано, що виявити та оцінити такі дефекти на ранніх стадіях, можливо за допомогою різних методів неруйнівного контролю, зокрема методом вихрострумової імпульсної термографії. За породженими вихровими струмами тепловими зображеннями виявляються зразки з поверхневими дефектами такими як тріщини, тоді як внутрішні дефекти, такі як відшарування та пошкодження удару, виявляються за допомогою теплових методів.

Ключові слова: вихрострумовий контроль, неруйнівний контроль, лопатки вітрових турбін, дефекти.

ВСТУП

Вітрові турбіни працюють за простим принципом. Ротор турбіни з'єднаний з головним валом, який обертає генератор для створення електричного струму. Вітрова турбіна працює обернено до вентилятора: замість того, щоб використовувати електроенергію для створення повітряного потоку.

Вітряні турбіни, як правило, недорогі. Вартість виробленої ними електроенергії коливається в межах від двох до шести центів за кіловатгодину. Цей показник є одним з найнижчих поміж інших альтернативних джерел енергії. Оскільки технологія виробництва вітрових турбін продовжує поліпшуватися, слід очікувати подальшого зниження вартості такої електроенергії. Основну вартість вітрових турбін складає процес їх установлення (на сьогодні вона коливається в межах від \$ 48 000 до \$ 65 000).

Вітрові турбіни використовують чисте джерело енергії, процес генерування електроенергії не супроводжується виділенням ні парникових газів, ні будь-яких шкідливих відходів. Використовуючи вітрову турбіну потужністю один мегават можна завадити викиду в атмосферу понад 1500 тонн двоокису вуглецю на рік, що має місце під час спалювання різних палив у теплових електростанціях.

АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЇ ЛОПАТОК ВІТРОВИХ ТУРБІН

Лопатки вітрових турбін працюють у вітровому потоці з низьким тиском, але з досить великою витратою повітря і високою швидкістю. Тому відношення довжини лопатки до діаметра ротора досить велике. Порівняно з нагнітальними лопатевими машинами (гвинтах літаків і вертольотів) особливої різниці в конструкціях лопаток немає.

Контроль на відсутність дефектів лопаток вітрових турбін під час виготовлення та експлуатації критично важливий для запобігання подальшим збиткам. Завдання контролю лопаток ускладнюється внаслідок значного розширення номенклатури матеріалів для їх виготовлення. На заміну важких металевих матеріалів для виготовлення елементів лопаток все більше застосовують неметалеві композитні матеріали такі як карбонові армовані пластмаси (КАП) і скло армовані пластмаси (САП). Більшість вітрових

турбінних лопатей виготовляють з таких композитів: скловолокно/епоксидна скла, скловолокно/поліестер, дерево/епоксидне. Важливою перевагою композитів є те, що вони витримують більші механічні навантаження і легші за масою в порівнянні з металами. КАП демонструє вищу міцність, ніж САП, і забезпечує кращі можливості щодо зменшення ваги. Однак вартість КАП дещо вища. Структура типової лопатки вітрових турбін представлена на рис. 1.

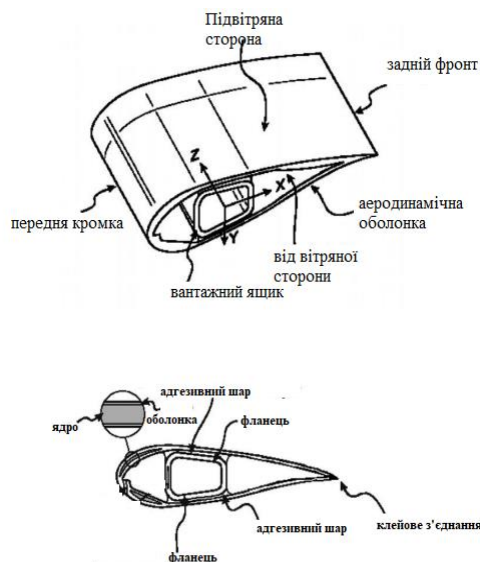


Рис 1. Основні елементи лопатки вітрової турбіни

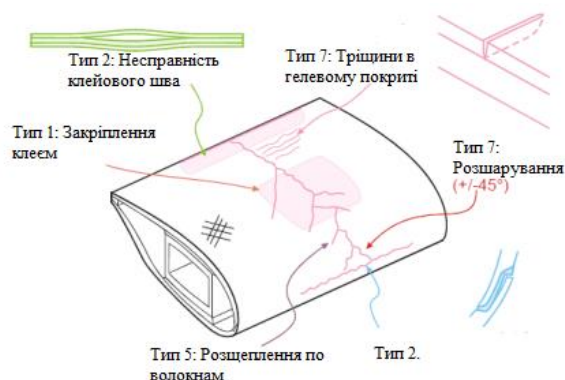


Рис. 2 Найпоширеніші види пошкоджень, виявлених у лопатках вітротурбіни

Пошкодження лопатки може відбуватися кількома способами. Характерні пошкодження вітрової лопатки турбіни наведені нижче.

1. Формування і зростання ушкоджень в адгезійному шарі покриття.
2. Формування пошкоджень та зростання в адгезійному шарі, що з'єднує покриття вздовж провідних та/або кінцевих країв.
3. Розщеплення та розрив окремих волокон у ламінатах покриття та основному сплаві.

4. Формування та зростання тріщин в гель-покритті.

5. Низькоенергетичні, низькошвидкісні пошкодження ударом, спричиняють великі розриви поверхневого шару, матричні тріщини та переломи волокон.

Розташування різних видів дефектів на лопаті показано на рис. 2.

Багато пошкоджень за своїм впливом подібну тріщинам, відшаруванням і пошкодженням ударом. Різні типи пошкоджень призводять до порушень властивості матеріалу в напрямку глибини виробу (напрямок z). В результаті розщеплюються волокна або тріщини (x і y напрямки).

Виявити та оцінити небезпечність цих та інших дефектів на ранніх стадіях розвитку можна за допомогою різних методів неруйнівного контролю (НК).

АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ ЗАСТОСУВАННЯ РІЗНИХ ВИДІВ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ ДЛЯ ЛОПАТОК ВІТРОВИХ ТУРБІН

1. *Ультразвуковий НК.* Ультразвук є добре встановленим методом, використовуваним для оцінювання внутрішньої структури і дефектів у

твердих об'єктах. Ультразвукові методи зручні для перевірки великогабаритних структур, таких як лопатки вітрових турбін. Ультразвук найбільш ефективний для виявлення дефектів, орієнтованих перпендикулярно до напрямку поширення ультразвукової хвилі.

2. Акустичний НК. Методи акустичного контролю можуть дати інформацію про зародження дефектів, їх локалізацію та динаміку їх поширення. Акустична емісія визначається як перехідна пружна хвиля, що утворюється, коли енергія деформації раптово звільнюється всередині або на поверхні матеріалу. Важливе тестування, яке базується на дослідженні звукових хвиль від лопатки з тріщиною, було проведено вченим Джоссі [1]. 9-метровий вітрогенератор з вуглецевого волокна типу CX-100 був випробуваний з навантаженням, відхиленням, деформацією та контрольованими акустичними викидами. Було показано, що система моніторингу акустичної емісії виявила не тільки місця розташування пошкоджень, але і вади глобального леза. Тестування як малих, так і великогабаритних лопаток вітро турбін було розроблено та продемонстровано за допомогою програмного забезпечення Aegis і Aegis PR, яке може послужити основою для створення онлайнової системи моніторингу стану леза лопаті.

3. Оптичний НК. Оптичолоконні датчики широко використовуються в моніторингу стану мостів і літальних апаратів для виявлення і контролю втомних тріщин, корозії в металевих і композиційних матеріалів тощо. Переваги волоконної оптики для НК композитних лопатей полягають у тому, що вона чутлива до механічних напружень і добре адаптується до завдань контролю великомасштабних конструкцій.

4. Вихрострумівий НК. Розвиток методу вихрових струмів завдячує відкриттю електромагнітної індукції Майклом Фарадеєм у 1831 році. На розподіл вихрового струму у електропровідному матеріалі помітно впливає його неоднорідність, яка спричинена дефектами. Ефективність цього методу суттєво залежить від взаємного розташування сенсора (електричної котушки) та дефекту, орієнтації волокна композиту, що впливає на відношення сигнал/шум.

Контроль вихровими струмами став потужним інструментом для перевірки виробів з електропровідних матеріалів. В різний час було запропоновано багато методів, що базуються на явищі вихрових струмів. Багаточастотний вихровий струм та імпульсний вихровий струм розглядаються сьогодні як перспективні напрями вдосконалення технології контролю при розробленні нових засобів вихрострумівого НК та розширення сфери його застосування. Обидва ці напрями передбачають використання сигналів збудження вихрових струмів в широкому діапазоні частот.

Імпульсна термографія з використанням імпульсного струму включає застосування короткочасного електромагнітного імпульсу високого струму до контрольованого провідного матеріалу. Вихрові струми індуковані в матеріалі призводять до нагрівання останнього. Існування будь-яких дефектів спотворює поширення вихрового струму, що призводить до зміни температури матеріалу,

яку можна виявити за допомогою термографії. точки зору матеріалів, що підлягають інспекції, імпульсну термографію вихровими струмами можна використовувати тільки для електропровідного композиту, такого як карбонові армовані пластмаси, тоді як інші три методи можуть бути використані як для провідних, так і для непровідних матеріалів.

За тепловими зображеннями виявляються дефектні зразки з поверхневими дефектами типу тріщини, тоді як внутрішні дефекти, такі як відшарування та пошкодження ударом краще виявляються за допомогою теплових методів.

ВИСНОВКИ

В роботі розглянуто лопатки вітрових турбін, проаналізовано їх характерні пошкодження. Показано, що виявити та оцінити небезпечність дефектів в лопатках на ранніх стадіях можливо за допомогою різних методів неруйнівного контролю, зокрема методами ультразвуковим, акустичним, оптичним, вихрових струмів та вихроострумової імпульсної термографії.

На основі порівняння можливостей цих методів обґрунтовано висновок про те, що імпульсну термографію з використанням вихрових струмів можна рекомендувати як ефективний гібридний метод контролю для оцінювання якості пластмасових лопаток з вуглецевого волокна.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Жерздев С. В. Теплозащитные покрытия для лопаток турбин авиационных двигателей (обзор) / С. В. Жерздев, Ю. А. Тамарин. – М.: ВИАМ, 1990. – 128 с.
2. Будиновский С. А. Современное состояние и основные тенденции развития высокотемпературных теплозащитных покрытий для рабочих лопаток турбин авиационных ГТД / С. А. Будиновский, С. А. Мубояджян, А. М. Гаямов // Авиационная промышленность, 2008. – № 4. – С. 33–37.
3. Высокотемпературные жаростойкие покрытия и жаростойкие слои для теплозащитных покрытий / [С. А. Мубояджян, С. А. Будиновский, А. М. Гаямов, П. В. Матвеев] // Авиационные материалы и технологии. – 2013. – № 1. – С. 17–20.
4. M. Jureczko, M. Pawlak and A. Mezyk, “Optimisation of wind turbine blades”, J. Mater. Process. Technol, vol. 167, pp. 463–71, 2005
5. C.C. Ciang, J.-T. Lee and H.-J. Bang. “Structural health monitoring for a wind turbine system: a review of damage detection methods”. Measurement Science and Technology, vol 19, Issue 12, 122001, pp. 1-20, 2008
6. J.K. Kim, D.B. Mackay and Y.W. Mai, “Drop-weight impact damage tolerance of CFRP with rubber-modified epoxy matrix”, Composites, vol. 24, pp. 485-491, 1993

Науковий керівник д.т.н., проф. Куц Ю.В.